



Dandara Santos Rodrigues

**INTEGRAÇÃO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS E GAMAESPECTROMÉTRICOS
NA FOLHA GEOLÓGICA CASIMIRO DE ABREU (SF-23-ZB-III, ESCALA 1:100000,
ESTADO DO RIO DE JANEIRO)**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

**Rio de Janeiro
2016**



UFRJ

Dandara Santos Rodrigues

INTEGRAÇÃO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS E GAMAESPECTROMÉTRICOS
NA FOLHA GEOLÓGICA CASIMIRO DE ABREU (SF-23-ZB-III, ESCALA 1:100000,
ESTADO DO RIO DE JANEIRO)

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Professor Leonardo Borghi de Almeida
Geólogo José de Ribamar Bezerra (ANP)

Rio de Janeiro

Agosto de 2016

Dandara Santos Rodrigues

INTEGRAÇÃO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS E GAMAESPECTROMÉTRICOS
NA FOLHA GEOLÓGICA CASIMIRO DE ABREU (SF-23-ZB-III, ESCALA 1:100000,
ESTADO DO RIO DE JANEIRO)

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Professor Leonardo Borghi de Almeida
Geólogo Jose de Ribamar Bezerra (ANP)

Aprovada em: 12.08.2016

Por:

Leonardo Borghi de Almeida / UFRJ, Orientador

Geof. Elaine Maria Lopes Loureiro / ANP

Marco Antônio Silva Braga / UFRJ

UFRJ
Rio de Janeiro
2016

Dedico este trabalho, que simboliza e fecha minha graduação, à minha mãe, Maria das Graças de Oliveira Santos, sem dúvida a maior responsável por esse feito, por sempre ter estado ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Não há palavras que consigam demonstrar o meu amor e a minha admiração.

Agradecimentos

Aos meus orientadores José de Ribamar Bezerra e Leonardo Borghi pelo apoio e paciência fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Diogo Freitas, por ter sempre ter acreditado em mim, pelo constante incentivo, desde 2013.

À Elaine Loureiro e à Elisabete Ferreira pelos breves mas muito importantes tutoriais do Oasis.

A todos os envolvidos no meu primeiro trabalho de iniciação científica, no UFFLAR, que apesar de não ter se desenvolvido até onde gostaria, foi muito importante para o meu desenvolvimento acadêmico; em especial, o Rodrigo Bagueira, Carla Semiramis, e Maira Lima da UFF e Amanda Rodrigues, da UFRJ.

A minhas principais companheiras de graduação Fernanda, Nathalia e Tainá que me ajudaram em momentos de total desgaste, tornando muitos desafios mais fáceis.

Resumo

RODRIGUES, Dandara Santos. **Integração de dados magnetométricos e gamaespectrométricos na folha geológica Casimiro de Abreu (SF-23-ZB-III, escala 1:100000 Estado do Rio de Janeiro)**. 2016, 35 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Aerogeofísica tem colaborado significativamente no avanço do conhecimento geológico do Brasil, principalmente na pesquisa em grandes áreas, tendo destaque em áreas de acesso restrito ou cujo mapeamento e demais pesquisas de detalhe não foram realizados. Os métodos aerogeofísicos são magnetométrico, gamaespectrométrico, eletromagnético e gravimétrico, a altura e o espaçamento de linhas variam de acordo com o objetivo do levantamento (reconhecimento ou detalhe). Por meio de informações obtidas em levantamentos aerogeofísicos é possível complementar e extrapolar o que foi adquirido no mapeamento geológico de campo, gerando novas discussões e estimulando o desenvolvimento de pesquisas mais consistentes e detalhadas. No estado do Rio de Janeiro, a integração geológica-aerogeofísica ainda carece de aprofundamento. No mês de Junho de 2016 a CPRM inseriu em sua plataforma GEOBANK novos dados aerogeofísicos levantados em 2014, com linhas de voo de 500m de espaçamento. Neste trabalho, foi escolhida para correlação a folha Casimiro de Abreu, no norte Fluminense. Por meio da análise inicial desses dados, foi possível observar a existência de uma série de informações em aerolevanteamento, ainda não existentes em mapeamento geológico realizado pelo projeto PRONAGEO, de 2007, também da CPRM, motivando o desenvolvimento deste trabalho. Especificamente, o trabalho objetiva identificar domínios possivelmente relacionados a enxames de diques não encontrados no mapa geológico de campo, bem como caracterizar a assinatura aerogeofísica da destacada Suíte Suruí, que, apesar de exibir contatos diferenciados, que não seguem a tendência de estruturação NE-SW, não apresentou inicialmente anomalias que permitissem diferenciá-la das rochas encaixantes.

Palavras-chave: Aerogeofísica; Gamaespectrometria; Magnetometria.

Abstract

RODRIGUES, Dandara Santos. **Magnetometry and Gamaespectrometry integration in Casimiro de Abreu geological sheet (SF-23-ZB-III, scale 1:100000 State of Rio de Janeiro)**. 2016. 35 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Aero-geophysics has been cooperating greatly in the Brazilian geological knowledge, mainly when researches are taking place in regions of hazardous or complicated access and where no previous study has been carried. The aero-geophysical methods are magnetometry, gamma spectrometry (or radiometric), electromagnetic and gravimetry. Being very sensitive to vibrations those methods demand technical careful. Furthermore, it is indispensable plan the detail level of project to determine the height of the fly combined with line spacing which it varies considerably from case to case. Aiming the improvement of geological field mapping, the data collected by aerogeophysical survey can promote new discussions about previous maps and encourage the development of unprecedented consistent and detailed researches. In the state of Rio de Janeiro, the geological-aerogeophysical integration lacks enlargement. In June 2016, the Company of Research of Mineral Resources (from portuguese *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais*, know as CPRM) add in its system named as GEOBANK new aerogeophysics data with fly lines of 500 m of spacing, generated in 2014. In this work it was chosen to correlation the Casimiro de Abreu sheet, northern of state. Through initial analysis of these data, it was possible to observe the existence of many geophysical information that the geological mapping conducted by Geological Program of Brazil (from *Portuguese Programa Geologia do Brasil*, PRONAGEO) did not bright up, when was realized in 2007 by CPRM, which led to the development of this work. This study aims to recognize areas that possibly are related to dike swarms not identified by geological field mapping, and to characterize the aerogeophysics of suite Surui that despite displaying unusual contacts, which do not follow the trend of NE-SW structure, did not show anomalies that allow differentiate it from surrounding rocks.

Key-Words: Aerogeophysics; Gammaespectrometry; Magnetometry.

Lista de figuras

Figura 1 - Representação esquemática do dipolo cujo campo é uma aproximação do campo magnético terrestre.	6
Figura 3 – Imagem de satélite com os limites da Folha Casimiro de Abreu 1:100000	13
Figura 4 - Mapa magnetométrico - Anomalia magnética residual.....	17
Figura 5 - Mapa magnetométrico - Amplitude do sinal analítico.	18
Figura 6 - Mapa magnetométrico - Primeira derivada (Tilt Derivative) com afloramentos..	19
Figura 7 - Mapa magnetométrico - Primeira derivada (Tilt Derivative) com estruturas.	20
Figura 8 - Mapa de Anomalia Magnética Residual de continuação para cima de 500 metros.	21
Figura 9 - Mapa Gamaespectrométrico de distribuição de Tório ²³⁸	23
Figura 10 - Mapa Gamaespectrométrico de Distribuição de Urânio ²³²	24
Figura 11 – Mapa Gamaespectrométrico de distribuição de Potássio ⁴⁰	25
Figura 12 - Mapa Gamaespectrométrico - Razão Tório ²³⁸ /Potássio ⁴⁰	26
Figura 13 - Mapa Gamaespectrométrico - Razão Urânio ²³² /Tório ²³⁸	27
Figura 14 - Mapa Gamaespectrométrico - Razão Urânio ²³² /Potássio ⁴⁰	28
Figura 15 - Perfis de Th ²³⁸ (cinza), U ²³² , (vermelho) e U ²³² /Th ²³⁸ (rosa) cortando a Suíte Suruí.	29
Figura 16 - Mapa geológico de Gerald <i>et.al</i> (2012) alterado.....	30

Sumário

Agradecimentos	iii
Resumo.....	iv
<i>Abstract</i>	v
Lista de figuras.....	vi
Sumário	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO E FIM	3
3 MATERIAIS E MÉTODOS	4
3.1 Acesso aos dados	4
3.2 Magnetometria.....	4
3.2.1 Definição	4
3.2.2 Campo magnético	4
3.2.3 Campo magnético terrestre.....	5
3.2.4 Comportamento magnético dos materiais	6
3.2.5 Magnetização das rochas	7
3.2.6 Campos magnéticos atuantes na crosta	7
3.2.7 Principais alterações aplicadas a dados magnetométricos.....	8
3.4 Gamaespectrometria	10
3.4.1 Potássio (K^{40}).....	11
3.4.2 Urânio (U^{232})	11
3.4.3 Tório (Th^{238})	11
3.4.4 Mapas Razões	12
3.4.5 Rochas e minerais.....	12
4 ÁREA DE ESTUDO	13
4.1 Aspectos gerais.....	13
4.2 Contexto geotectônico	13
4.3 Principais unidades litológicas	14
4.3.1 Suíte Suruí	15
4.3.2 Grupo São Fidelis.....	15

4.3.3	Complexo Rio Negro.....	15
4.3.4	Suíte Cordeiro.....	15
4.3.5	Enxame de diques da Serra do Mar.....	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5.1	Interpretação aerogeofísica e integração com a geologia.....	17
5.1.1	Magnetometria.....	17
5.1.2	Gamaespectrometria	22
	Perfis	29
6	CONCLUSÕES	31
	Referências bibliográficas	32

1 INTRODUÇÃO

A Geofísica é uma área das Geociências que estuda as propriedades (como densidade, porosidade, resistividade elétrica, susceptibilidade) da superfície e subsuperfície terrestre de modo indireto, permitindo assim, a caracterização dos corpos geológicos. O trabalho se dá pelas etapas: identificação e compreensão do problema, escolha do método a ser utilizado, planejamento, aquisição, processamento e interpretação.

Os primeiros levantamentos geofísicos do Brasil foram realizados em 1952 em padrão analógico e no ano de 2006 o projeto AERO, da CPRM, disponibilizou um catálogo *online* de todos os aerolevantamentos do país. Essa medida foi muito importante para o desenvolvimento de novas técnicas de análise e processamento, tanto por profissionais da área quanto por instituições de pesquisa, o que colaborou sensivelmente para a ampliação do conhecimento acerca da nossa geologia.

A Aerogeofísica é o ramo da Geofísica que trabalha com aquisição de dados com o uso de sensores colocados em aeronaves, tais como helicópteros e aviões, objetivando caracterização de grandes áreas, trazendo mais conhecimento motivando futuros estudos de detalhe. Os métodos aerogeofísicos mais utilizados são o magnetométrico, o gamaespectrométrico e o gravimétrico; sua maioria é realizada por aviões de asa fixa a uma altura de 100 a 300 metros e de espaçamento de linhas de voo de 200 a 2000 metros, a altura e o espaçamento de linhas de voo definem se o objetivo do levantamento é de reconhecimento ou de detalhe.

A magnetometria permite determinar a localização de corpos e estruturas geológicas aflorantes e em subsuperfície, pela medida de campos magnéticos anômalos gerados por minerais magnéticos constituintes das rochas. Após o devido processamento dos dados extraídos, são produzidos mapas, que permitem delimitar intrusões, falhas, lineamentos, domínios estruturais e diferenciar feições geológicas.

A gamaespectrometria caracteriza-se por aplicar o método radiométrico que determina teores de elementos radioativos pela contagem de emissão de radiação gama pelos radioelementos Tório²³⁸, Urânio²³² e Potássio⁴⁰, presentes em minerais que compõem solos e rochas na superfície terrestre, com o processamento e interpretação dessas informações, podemos inferir contatos litológicos, mapear falhas e áreas mineralizadas, além de classificar

unidades litológicas com a contagem da concentração desses radioelementos. (Gonçalves, 2008).

A integração geológica-aerogeofísica visa a realizar uma sistemática mais robusta de mapeamento, ao agregar os benefícios dos levantamentos de geofísica aérea ao mapeamento geológico, em parte usada na cartografia geológica no Brasil. No estado do Rio de Janeiro, essa abordagem ainda não está concluída, sendo importante realizá-la a para otimizar os mapeamentos do PRONAGEO, integrando-os à malha aerogeofísica de 500 metros.

Os dados utilizados são de domínio público, disponíveis na base de dados GEOBANK gerida pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. A área de estudo está contida na folha Casimiro de Abreu, cujo mapeamento em escala 1:100.000 realizado pela CPRM em 2012 teve ampla divulgação e é também de acesso público, disponível no sítio da instituição.

2 OBJETIVO E FIM

Como **objetivo**, são realizadas interpretações de dados de gamaespectrometria e magnetometria em mapas, embasados por modelos matemáticos que permitem caracterizar feições e corpos geológicos em superfície e subsuperfície, as quais são correlacionadas ao mapa geológico da área de estudo.

A **finalidade** do trabalho é identificar e entender quais propriedades identificadas pela geofísica estão relacionadas com informações levantadas em mapeamento geológico.

O foco do estudo de caso, na Folha geológica Casimiro de Abreu, será a caracterização da Suíte Suruí, constituída por granitos intrusivos na Faixa Ribeira, formados no estágio tardi-colisional, representados por rochas pouco ou não foliadas, do ponto de vista deformacional, porém, exibindo visível foliação de fluxo magmático (Valeriano *et al*, 2012). Adicionalmente, são feitas análises estruturais da área associadas aos Enxames de Diques da Serra do Mar, de ocorrência regional.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Acesso aos dados

Os dados utilizados em todo o trabalho são de domínio público, encontrados no site da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, pela plataforma GEOBANK. Os dados, tanto magnetométricos como gamaespectrométricos, já foram disponibilizados após a realização das devidas correções, apontadas em seguida, cabendo a realização de filtros, quando necessário, e elaboração de grids, mapas e perfis aerogeofísicos.

Após acessados os dados aerogeofísicos, todo o trabalho de processamento foi realizado nas dependências da ANP, mais precisamente na *Workstation* do Banco de Dados de Exploração e Produção – BDEP, durante período de estágio. O mapa geológico gerado pela UERJ em parceria com a CPRM (Geraldes *et al.*, 2012) foi georreferenciado e integrado aos demais dados com o uso de plataforma SIG.

A base de dados da CPRM também nos forneceu as coordenadas dos afloramentos do município Casimiro de Abreu, o que deu maior detalhamento à correlação e permitiu extrapolar interpretações e conclusões.

3.2 Magnetometria

3.2.1 Definição

A magnetometria é um método geofísico potencial de variadas aplicações no ramo das geociências; com o uso da magnetometria é possível identificar contatos, corpos e estruturas geológicas, e com isso, inclusive, auxiliar na identificação de áreas economicamente atrativas para exploração mineral. As variações da intensidade do campo geomagnético são encontradas em maior ou menor grau de acordo com a presença de minerais magnéticos nas rochas sob análise.

3.2.2 Campo magnético

O campo magnético é definido como um campo vetorial produzido por um dipolo magnético. O campo é originado por cargas elétricas em movimento, geradas por um dipolo permanente, ou ímã. Se colocarmos uma carga em movimento ou um fio transportando uma

corrente num campo magnético, uma força magnética atuará sobre eles, sendo assim, o magnetismo atua em conjunto com a eletricidade (Halliday, 1994).

A susceptibilidade magnética é a propriedade física que determina a facilidade que o material terá em ser magnetizado; quanto maior a susceptibilidade magnética de um material, maior será sua resposta à aplicação de um campo magnético. A magnetização depende da susceptibilidade magnética e do campo magnético segundo a seguinte fórmula:

$$\mathbf{M} = \kappa \cdot \mathbf{H}$$

onde \mathbf{M} é a magnetização induzida, κ é a susceptibilidade magnética e \mathbf{H} é o campo magnético.

O comportamento magnético de um material depende dos momentos magnéticos dos átomos ou íons que o compõem. Os átomos e íons de um corpo não são aleatoriamente distribuídos, e sim possuem posições e localizações fixas, que refletem a estrutura cristalina e controlam inclusive a interação entre os íons. Existem três classes principais de comportamento magnético: diamagnetismo, paramagnetismo, e ferromagnetismo (Miranda, 2005).

3.2.3 Campo magnético terrestre

O campo magnético terrestre é originado no núcleo da Terra e pode ser aproximado a um momento dipolo localizado em seu centro; esse momento aponta para o sul geográfico, fazendo um ângulo de aproximadamente 11,5° com o eixo de rotação da Terra e intercepta a superfície em coordenadas aproximadas 78,5°N - 69°W e 78,5°S - 111°E, determinando os chamados polos geomagnéticos. Os polos magnéticos são definidos nas posições aproximadas 75° N - 101° W e 67°S - 143° E. O campo magnético terrestre e seus elementos sofrem variações ao longo do tempo, chamadas variações seculares, além de inversões de polaridade (Luiz & Silva, 1995).

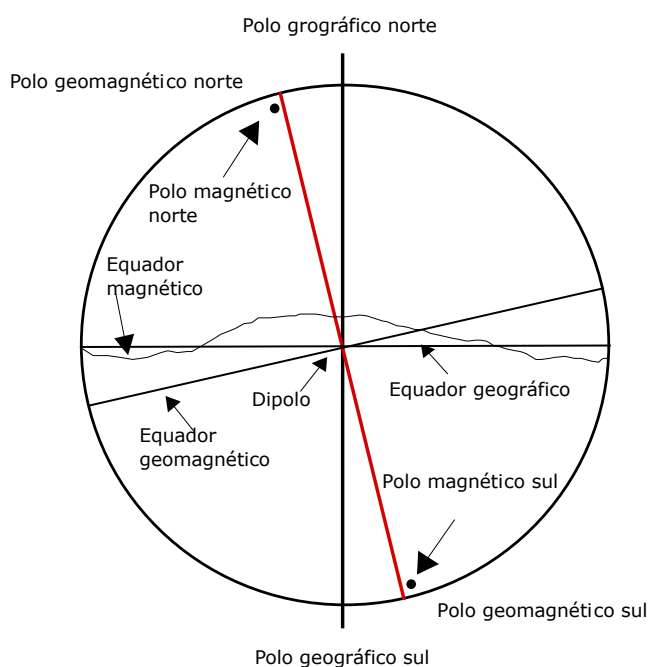


Figura 1 - Representação esquemática do dipolo cujo campo é uma aproximação do campo magnético terrestre (adaptado de Luiz & Silva, 1995)

3.2.4 Comportamento magnético dos materiais

A susceptibilidade magnética é um parâmetro importante na classificação dos materiais pelo seu comportamento magnético. Os três principais grupos de comportamentos magnéticos são ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo.

O diamagnetismo é uma propriedade característica de todos os materiais. Os materiais diamagnéticos têm uma susceptibilidade magnética negativa e bem pequena, ou seja, a magnetização induzida no corpo pelo campo magnético tem uma direção contrária à do campo. Paramagnetismo é o alinhamento parcial dos momentos magnéticos dos átomos que constituem o material em razão de sua susceptibilidade positiva. Já materiais ferromagnéticos têm respostas muito maiores à aplicação de um campo magnético, tendo susceptibilidades magnéticas centenas de vezes maiores do que materiais diamagnéticos e paramagnéticos (Dunlop & Özdemir, 1997). A agitação dos átomos com o aumento de temperatura tende a perturbar o alinhamento dos dipolos, com isso, a magnetização diminui. A magnetização alcança o seu valor máximo quando todos os dipolos estão alinhados. A temperatura a partir da qual um material ferromagnético passa a ser paramagnético é denominada temperatura de Curie (Araújo, 2009).

3.2.5 Magnetização das rochas

A magnetização das rochas ocorre em razão da ocorrência de minerais magnéticos em sua composição, sua maior parte é diamagnética ou paramagnética, no entanto, a presença em menor quantidade de minerais de propriedades paramagnéticas e principalmente ferrimagnéticas nessa matriz é o que gera a enorme variedade encontrada em termos de susceptibilidade magnética nas rochas. (Lowrie, 2007).

O tipo do mineral magnético, o tamanho do grão e a maneira pela qual ele adquiriu uma magnetização remanente são os principais fatores que influenciam a magnetização das rochas (Lowrie, 2007). Os principais minerais magnéticos são: magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), maghemita (equivalente oxidado da magnetita, Fe_2O_3), goethita (FeOOH), pirrotita (FeS) e greigita (Fe_3S_4 ; Dunlop & Özdemir, 1997).

Há duas classificações principais: magnetização induzida e magnetização residual remanescente ou remanente. A magnetização induzida é gerada pelo atual campo da Terra, ao passo que a magnetização remanente é acumulada ao longo do tempo geológico.

A chamada magnetização termoremanente é adquirida ao longo do processo de resfriamento e formação das rochas ígneas, abaixo da temperatura de Curie. Outro tipo de magnetização remanente, desenvolvida na formação de rochas magnéticas e sedimentares é a magnetização química, que ocorre quando há transformações químicas ou crescimentos de grãos ferromagnéticos. A magnetização resultante da deposição de sedimentos finos é chamada deposicional ou detrital (Dunlop & Özdemir, 1997). A magnetização decorrente de esforços tectônicos associados ao campo magnético, podendo gerar deformações nos minerais magnéticos (magnetostricção) é denominada magnetização piezo-remanescente (Pacheco, 2007).

3.2.6 Campos magnéticos atuantes na crosta

O Campo Geomagnético Internacional de Referência (IGRF - *International Geomagnetic Reference Field*), adotado a partir de 1968, é um modelo desenvolvido pela Associação Internacional de Geomagnetismo e Aeronomia (IAGA - *International Association of Geomagnetism and Aeronomy*) que estima o campo magnético principal da terra para um dado período, ou seja, a partir de medidas aéreas, terrestres e marinhas, é medido o campo

principal da terra, usado como referência para dedução de levantamentos magnéticos que visam apenas o magnetismo crustal.

As chamadas anomalias do campo magnético são contribuições de caráter local, geradas por concentrações de minerais magnéticos em profundidades de até 5km de crosta que determinam a susceptibilidade magnética das rochas. Além das anomalias locais, existem campos altamente variáveis, produzidos por fontes externas à Terra, gerados por correntes elétricas que fluem da ionosfera. Esses campos magnéticos externos produzem tempestades magnéticas, que podem ocorrer diariamente ou quase que mensalmente e variações diurnas, que geram flutuações de duração de 24 horas (Telford, 1990).

3.2.7 Principais alterações aplicadas a dados magnetométricos

Variação diurna

São variações relacionadas ao movimento de rotação da Terra que dependem da posição geográfica, sendo estimadas em estações fixas e de maior amplitude no verão. Os registros são caracterizados em dias calmos (com variações suaves, regulares e de baixa amplitude) e dias perturbados (variações irregulares, relacionadas a tempestades magnéticas, que registram amplitudes de até 1% do campo magnético, exigindo a paralisação do levantamento; Horsfal, 1997).

Correção topográfica

Em terrenos mais íngremes, o sensor se aproxima mais do terreno, tendo um volume maior de material magnetizado, contudo, em terrenos mais arrasados, não se faz necessária tal correção.

Filtragem dos dados

O objetivo das filtrações é remover sinais produzidos por fontes indesejáveis, não geológicas, na fase de processamento. Após gerados os grids, são identificadas áreas de respostas duvidosas e é feita a filtragem dos dados para tentativa de reduzir tais efeitos.

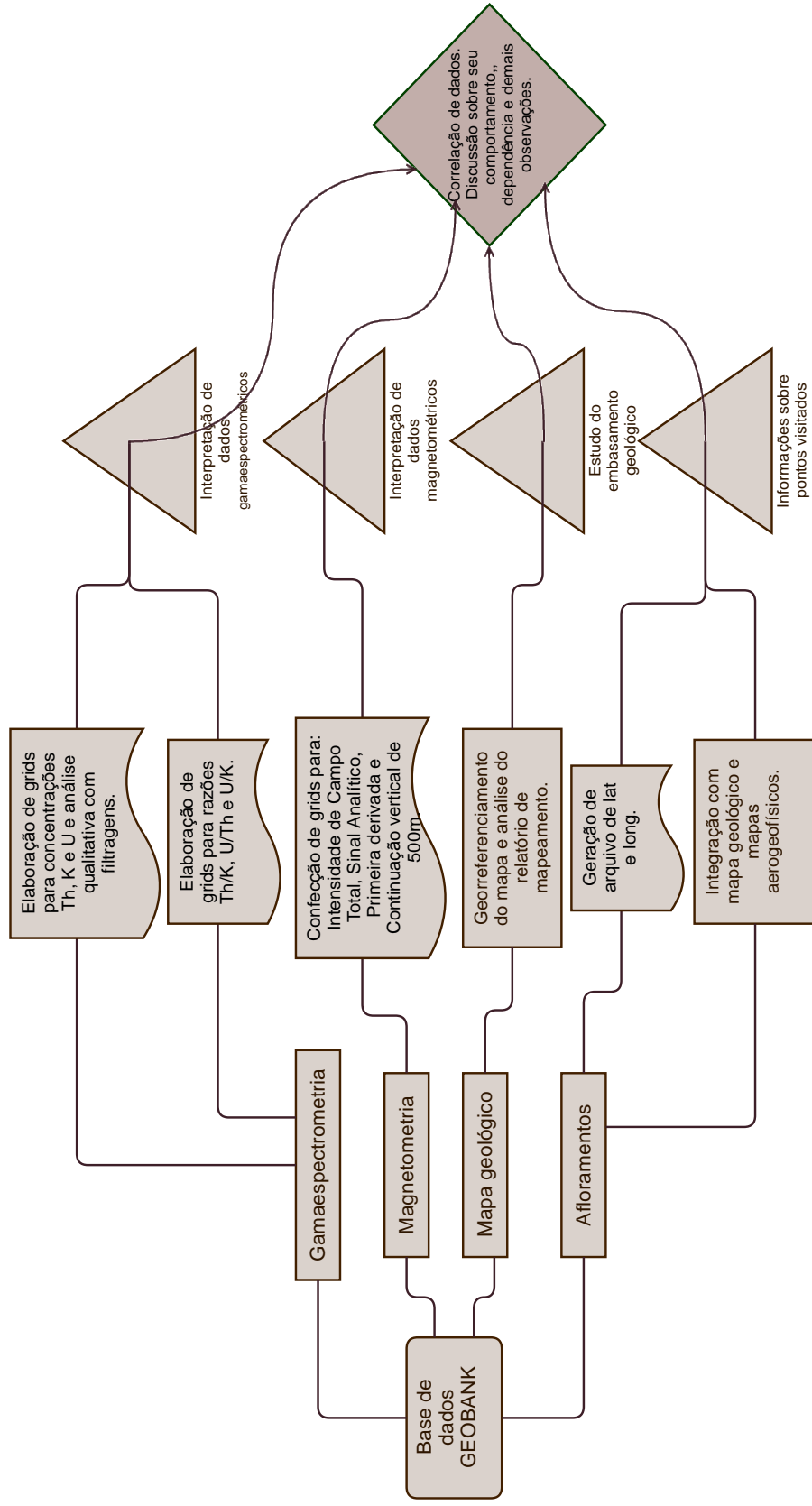


Figura 2 - Fluxograma de trabalho

3.4 Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é um método que se embasa na quantificação da emissão de radiação gama gerada pelo decaimento dos elementos radioativos. Existem na natureza mais de 50 isótopos radioativos diferentes na natureza, porém sua maioria é muito rara ou fracamente radioativa. As principais fontes de radiação gama na superfície terrestre são resultado da desintegração natural do Potássio (K^{40}) e dos elementos das séries do Urânio (U^{238}) e do Tório (Th^{232}) presentes na composição de grande parte das rochas (Cox *et al.*, 1979, Telford *et al.* 1990).

A radioatividade é basicamente a emissão de radiação por parte de alguns elementos químicos instáveis energeticamente. A variação dos elementos Th^{232} , U^{238} e K^{40} nas rochas pode permitir a identificação de diferentes litotipos (Kearey, 2002).

As rochas que se mostram mais receptivas a essa técnica são as rochas ígneas ácidas e também rochas sedimentares ricas em clastos de rochas ácidas e argilominerais, por conta do alto conteúdo desses elementos radiométricos.

A gamaespectrometria é uma medida estritamente superficial, de modo que alguns fatores comuns em grandes áreas a atenuam e devem ser considerados na análise dos levantamentos, tais como:

- a) Cobertura de solo: a partir de 20 centímetros de cobertura de solo podem atenuar fortemente a emissão de radiação gama;
- b) Umidade no solo: um solo fresco pode absorver quase totalidade da emissão de radiação gama gerada pelos elementos presentes nas rochas;
- c) Vegetação: uma vegetação densa também é capaz de absorver a emissão de radiação gama.

Como trata-se de uma medida em pouca profundidade (até 30 centímetros), é importante que sejam analisadas outras propriedades das rochas em paralelo, como, por exemplo: descrição mineralógica, gravimetria, geoquímica e magnetometria. No entanto é possível obter informações tais como extensão de formações e contatos geológicos superficiais, além de estruturas tectônicas encontradas em subsuperfície.

A interpretação de dados radiométricos deve considerar diversos temas de mapas, associados a informações sobre o contexto tectônico e a geologia regional da área estudada. Os mapas gerados normalmente são em função da distribuição espacial das contagens de cada

elemento (Th^{238} , U^{232} e K^{40}), a distribuição da contagem total (CT – somatório de todos os radioelementos) e mapas de razões ($\text{U}^{232}/\text{Th}^{238}$, $\text{U}^{232}/\text{K}^{40}$ e $\text{Th}^{238}/\text{K}^{40}$).

3.4.1 Potássio

O Potássio é encontrado na crosta continental com abundância média de 1,50% e 1,81% de K_2O ; aparece em maior quantidade na parte superior da crosta (2,32% de K e 2,80% de K_2O) do que na inferior (0,51 K; Rudnick, 2006). Os feldspatos potássicos são os minerais de maior teor de K (varia de 2,45% a 13,38%; Cox *et al*, 1979), de polimorfos ortoclásio e microclina (mais ocorrentes); possui alto teor também em micas (de 7,60% a 9,30%) e alguns argilominerais, por ser de alta mobilidade durante o intemperismo e alteração hidrotermal, sendo facilmente absorvido por argilominerais. O Potássio possui presença importante em rochas sedimentares como folhelhos e filitos e teores ainda mais elevados em ígneas félsicas como granitóides e seus equivalentes vulcânicos e rochas metamórficas como filitos, xistos e gnaisses. Em rochas ultramáficas o teor encontrado é muito baixo.

3.4.2 Urânio

O Urânio possui concentração média na crosta de 1,3 ppm, sendo mais presente na crosta superior do que na inferior (2,7 ppm na primeira contra 0,2 ppm na segunda). Os minérios de Urânio são encontrados em rochas como pegmatitos, sienitos, gnaisses, carbonatitos e granitos. O Urânio é o elemento, dentre os radiométricos, de menor mobilidade química, não acompanhando o Th e o K em processos hidrotermais.

3.4.3 Tório

O Tório contém valor médio de 5,6 ppm na crosta, essa concentração chega a 10,5 ppm na parte superior contra 1,2 ppm na parte inferior. Tanto o Urânio quanto o Tório estão presentes em minerais acessórios de rochas ígneas quartzo feldspáticas e suas equivalentes metamórficas. Tanto o Tório quanto o Urânio são mais móveis do que o Potássio, sendo encontrados em óxidos de ferro nos solos. O Tório pode estar presente em minerais alanita, monazita, xenotima e zircão (Dickson & Scott, 1997), esses minerais são mais resistentes ao intemperismo, por isso o Th pode se acumular em depósitos contendo minerais pesados.

3.4.4 Mapas Razões

Em posse de informações sobre contagens individuais dos radioelementos são gerados também os chamados mapas de razões (U^{232}/Th^{238} , U^{232}/K^{40} e Th^{238}/K^{40}). Com o uso desses mapas é possível destacar diferenças entre as concentrações dos elementos em uma região ou identificação de áreas de alteração hidrotermal com maiores teores de K^{40} (potássica ou fílica).

Pesquisas mostram que o Tório²³⁸, com o aumento do teor de sílica, geralmente tem maior crescimento no número de contagens em relação aos demais radiométricos, o que viabiliza o estudo do grau de diferenciação de determinada suíte ígnea com a análise da razão U^{232}/Th^{238} , por exemplo. Rochas geradas nos últimos estágios de resfriamento, embora muitas vezes não detectadas em levantamentos regionais, apresentam altos teores de K^{40} em detrimento de Th^{238} e U^{232} . Essa análise é importante pois pode relacionar-se à ocorrência de Au e Ag em variados ambientes geológicos. As razões U^{232}/K^{40} e Th^{238}/K^{40} são, na maioria das vezes, mais elucidativas do que as razões U^{232}/Th^{238} (Ribeiro, 2014).

3.4.5 Rochas e minerais

Apesar de os emissores de radiação gama serem extremamente superficiais, não chegando a 50 centímetros de profundidade, a intensidade da radiação emitida pelo solo também depende diretamente da mineralogia, da química das rochas e minerais e do tipo de intemperismo atuante neles (Wilford *et al.*, 1997).

No decorrer do intemperismo químico e físico, os radioelementos constituintes da rocha podem ser transportados, redistribuídos e incorporados no regolito, alterando assim o comportamento gamaespectrométrico da rocha. Produtos do intemperismo físico têm propriedades radiométricas diferentes dos do intemperismo químico, sendo esses dependentes de características como acidez e salinidade da água.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Aspectos gerais

A área é localizada na região Serrana de Macaé, norte fluminense do Estado do Rio de Janeiro (Figura 3), as unidades geológicas observadas compreendem a rochas originadas durante o evento tectonotermal que formou a Faixa Ribeira (Schobbenhaus *et al.*, 1984).

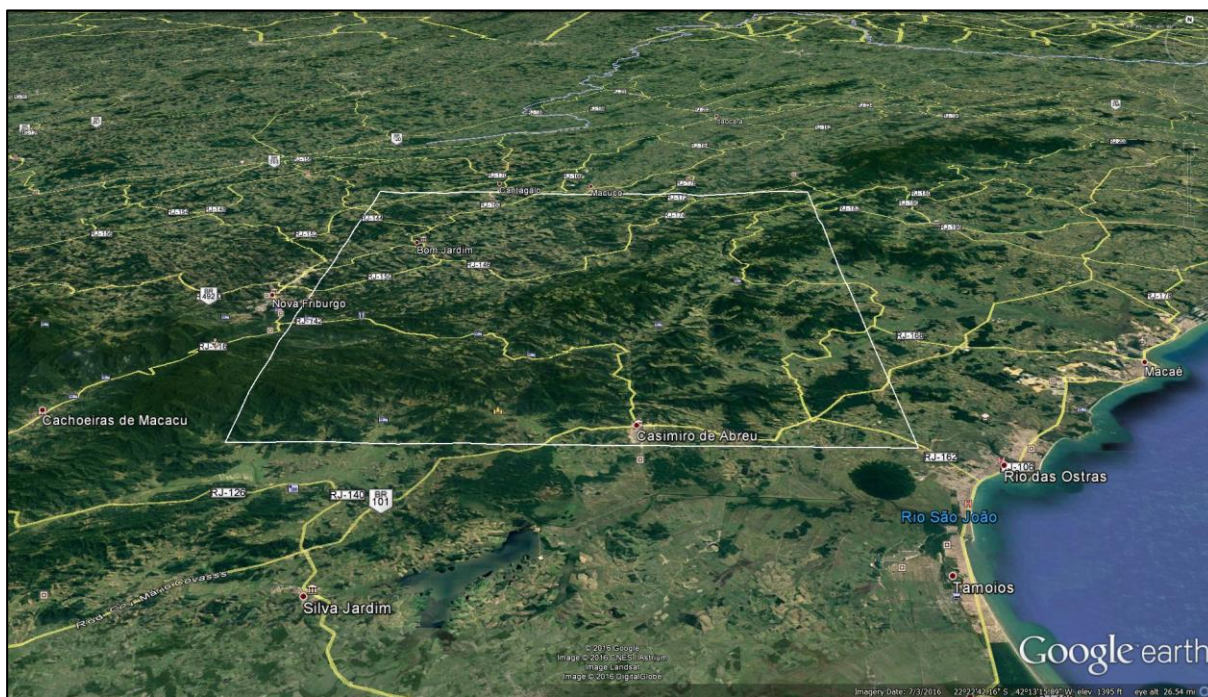


Figura 3 – Imagem de satélite com os limites da Folha Casimiro de Abreu 1:100000

Nas porções central e centro-sul predominam as unidades metassedimentares que são cortadas pelas rochas granito-gnássicas de elevado grau metamórfico. As rochas principais são biotitas-gnaisses granadíferos, por vezes com sillimanita (Grupo São Fidelis). Rochas carbonáticas intercaladas com gnaisses biotíticos compreendem à Unidade Itáva (Geraldes *et al.*, 2012).

De maneira geral, as rochas pertencentes à área de estudo compreendem granitóides de diferentes arranjos composicionais, de ácidos a básicos, representados pelas unidades Complexo Rio Negro, Batólito Serra dos Órgãos, Complexo Trajano de Moraes, Unidade Imbé, Granito Sana e Complexo Região dos Lagos (Tupinambá, 2000).

4.2 Contexto geotectônico

A área estudada está coberta pela Província Mantiqueira, cuja evolução sofre forte influência do Ciclo Orogênico Brasileiro. Existem registros de três episódios tectônicos no contexto do Rio de Janeiro. Primeiramente, iniciada no Neoproterozóico, a formação da Faixa Ribeira, associada a amalgamação de Gondwana; em seguida são geradas as bacias marginais de Campos e Santos, com a abertura do Atlântico e ruptura de Gondwana; por último, após reativação tectônica, o sistema de Rifts do Sudeste é gerado, de idade eocretácea a eocênica.

A Faixa Ribeira constitui os registros mais antigos do Sudeste brasileiro, inserida no sistema orogênico Mantiqueira, é estruturada na direção Nordeste e se estende por 1400 quilômetros ao longo da costa. A Faixa se formou a partir da colisão entre os paleocontinentes São Francisco Congo e Oeste Africano até o Ordoviciano Inferior (Heilbron *et al.*, 2008).

A quebra do supercontinente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico Sul, no Cretáceo Superior, provocou efeitos tectono-magmáticos também registrados no Sudeste brasileiro. Esse magmatismo é representado na forma de enxames de diques, como os até então descritos Enxame de Diques da Serra do Mar (ESDM), de direção NEE e Enxame de Diques da Baía da Ilha Grande (EDBIG), de direção NNW, por Almeida (1976); Mackenzie & Bickle (1988); Valente *et al.* (1991 e 1992); Valente (1997); Corval (2005); Dutra (2006); Corval *et al.* (2008) e Riccomini *et al.* (2006).

O último episódio geotectônico marcante registrado foi desenvolvido entre o Cretáceo Superior ao Eoceno, gerando os Rifts Continentais do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989), nele se incluem dezenas de bacias tafrogênicas cenozóicas, instaladas, principalmente, sobre descontinuidades pré-Cambrianas (Riccomini *et al.*, 2004; Zalán & Oliveira, 2005). Os rifts do segmento central são estruturados em direção NW ou NE (Riccomini *et al.*, 1989).

Durante o desenvolvimento da margem continental, entre o Cretáceo Superior e o Eoceno, há registro de um pulso magmático alcalino; nele predominam rochas alcalinas félsicas, além de existirem também variedades máficas e ultramáficas. Enxames de diques alcalinos de direção principal ENE ocorrem próximos os corpos plutônicos, ocorrendo principalmente traquitos, fonolitos e lamprófiros. Os derrames de ankaramitos são as rochas mais jovens, que ocorrem intercalados a sedimentos das bacias de Volta Redonda e Itaboraí (Riccomini & Rodrigues Francisco, 1992; Riccomini *et al.*, 2004).

4.3 Principais unidades litológicas

4.3.1 Suíte Suruí

Unidade caracterizada por granitos isotrópicos, de granulação fina (milimétrica), por vezes com estruturas de fluxo (onde exhibe granulação mais grossa), de composição sienogranítica a monzogranítica. Localmente apresenta granulação mais grossa (centimétrica) e brechas de falhas nas bordas. Possui índice de cor leucocrático, textura equigranular, com biotita e muscovita (Geraldes *et al.*, 2012). Encontra-se cortado por diques e veios de pegmatito (Valeriano *et al.*, 2012).

4.3.2 Grupo São Fidelis

O Grupo é composto por três unidades, sendo elas:

Sillimanita biotita gnaiss bandado ou homogêneo, de frequente intercalação de rochas ricas em sillimanita, granada, e feldspato com ocorrência de sulfetos disseminados. Os gnaisses bandados são finos, biotíticos, com alternância regular de bandas milimétricas a centimétricas, com biotita, quartzo, plagioclásio, microclina, sillimanita e granada;

Kinzigito, granada biotita gnaiss (e, localmente, cordierita), bandado com intercalações de sillimanita granito gnaiss, quartzito, anfibolito e rochas calcissilicáticas; e

Biotita-gnaiss homogêneo (Valeriano *et al.*, 2012).

4.3.3 Complexo Rio Negro

Grupo dividido nas duas unidades:

Rocha gnáissica, mesocrática, de granulação média a grossa, de foliação descontínua, composta por agregados planares de biotita e hornblenda. Variando ao longo da série tonalítica, quartzo-diorítica, granodiorítica e granítica. Intercalações de metagabros, metaquartzo dioritos e paleodiques anfibolíticos são comuns.

Plútons gabróicos.

4.3.4 Suíte Cordeiro

Granitos quartzo-feldspáticos com pouca biotita, por vezes com granada, predominantemente porfirítico. A forma mais comum de ocorrência do leucogranito apresenta biotita parda, cristais isolados de hornblenda verde, plagioclasio zonado ou com borda de albita no contato com o k-feldspato e titanita subedral.

4.3.5 Enxame de diques da Serra do Mar

Diabásios subverticais encaixados em rochas metamórficas de alto grau (anfibolito a granulito), segundo uma direção geral NE, de espessura muito variável, chegando a mais de 100 metros (Valente, 1991).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Interpretação aerogeofísica e integração com a geologia

5.1.1 Magnetometria

O mapa de anomalia magnetométrica residual (Figura 4) permite a compartimentação da área em domínios de diferentes intensidades de campo magnético, consequentemente, em áreas de diferente susceptibilidade magnética. No mapa também é possível reconhecer a estruturação principal da área, já mencionada, de direção NE-SW (Gerald *et. al*, 2012).

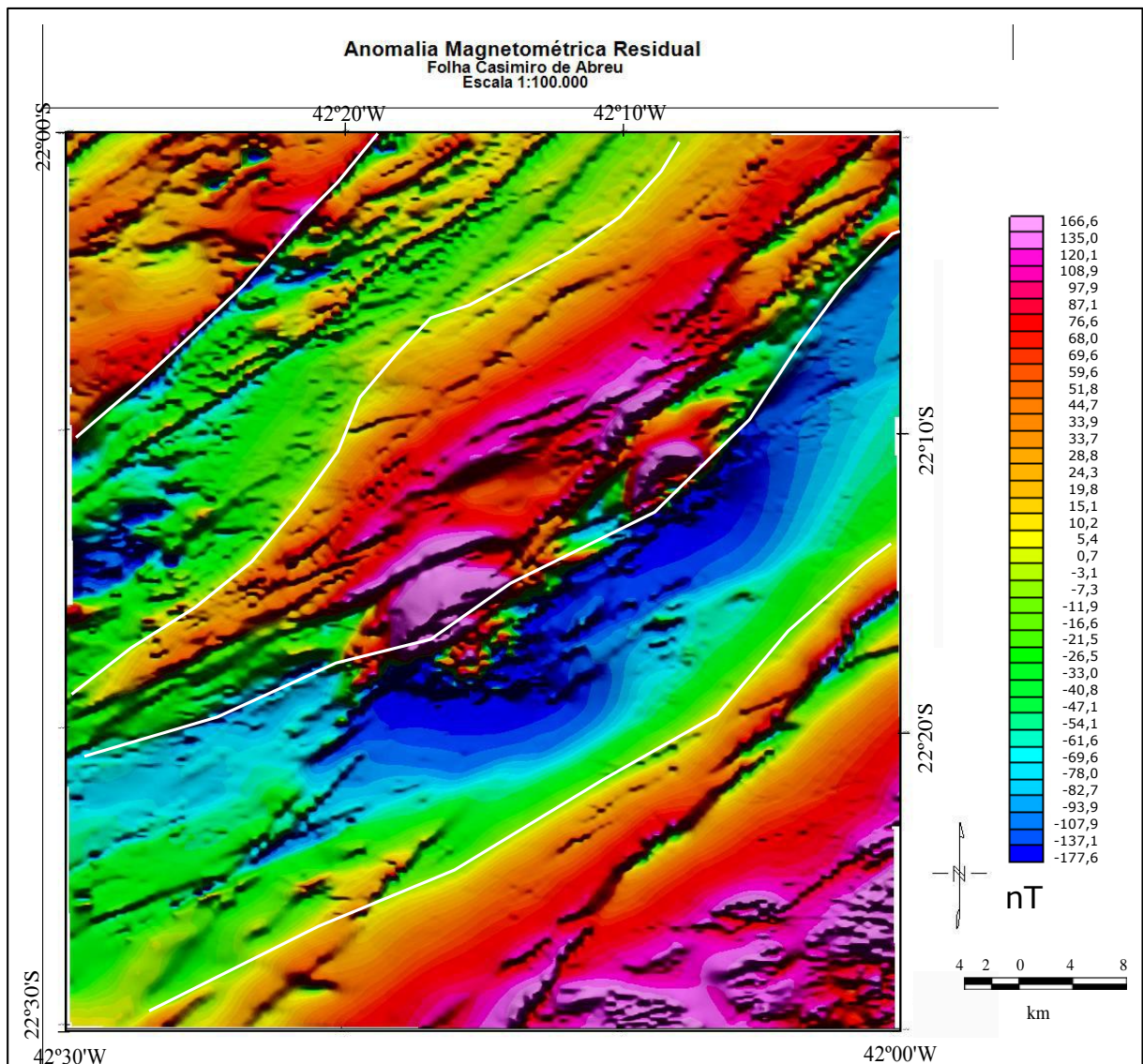


Figura 4 - Mapa magnetométrico - Anomalia magnética residual. As linhas brancas separam os principais domínios interpretados.

junção tríplice do Paraná na Folha Casimiro de Abreu não mapeados anteriormente. O estudo dos afloramentos constantes na base de dados da CPRM para o município Casimiro de Abreu, presentes na Figura 6 reforça a afirmação, uma vez que existem 6 afloramentos de diabásio cadastrados no município cujas coordenadas são compatíveis com as anomalias.

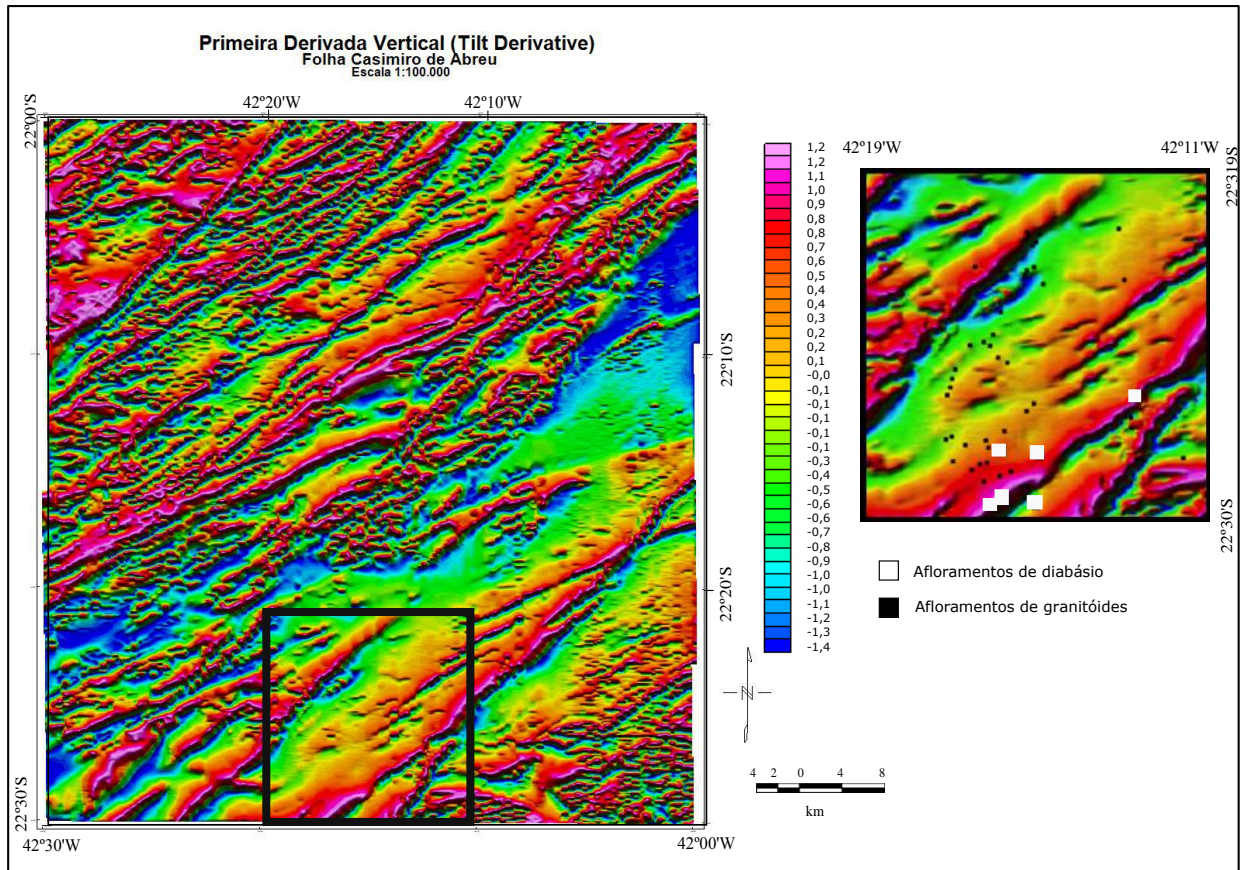


Figura 6 - Mapa magnetométrico - Primeira derivada (Tilt Derivative). Magnificação do Município Casimiro de Abreu com os pontos pretos descritos como granitóides e os brancos como diabásios.

A aplicação do filtro de primeira derivada também exibe maior detalhamento para as estruturas identificadas na magnetometria, dessa forma a separação de domínios se faz pelos diferentes padrões de estruturação da área (Figura 7), tendo maior detalhe do que a interpretação do mapa de anomalia magnetométrica residual da Figura 4.

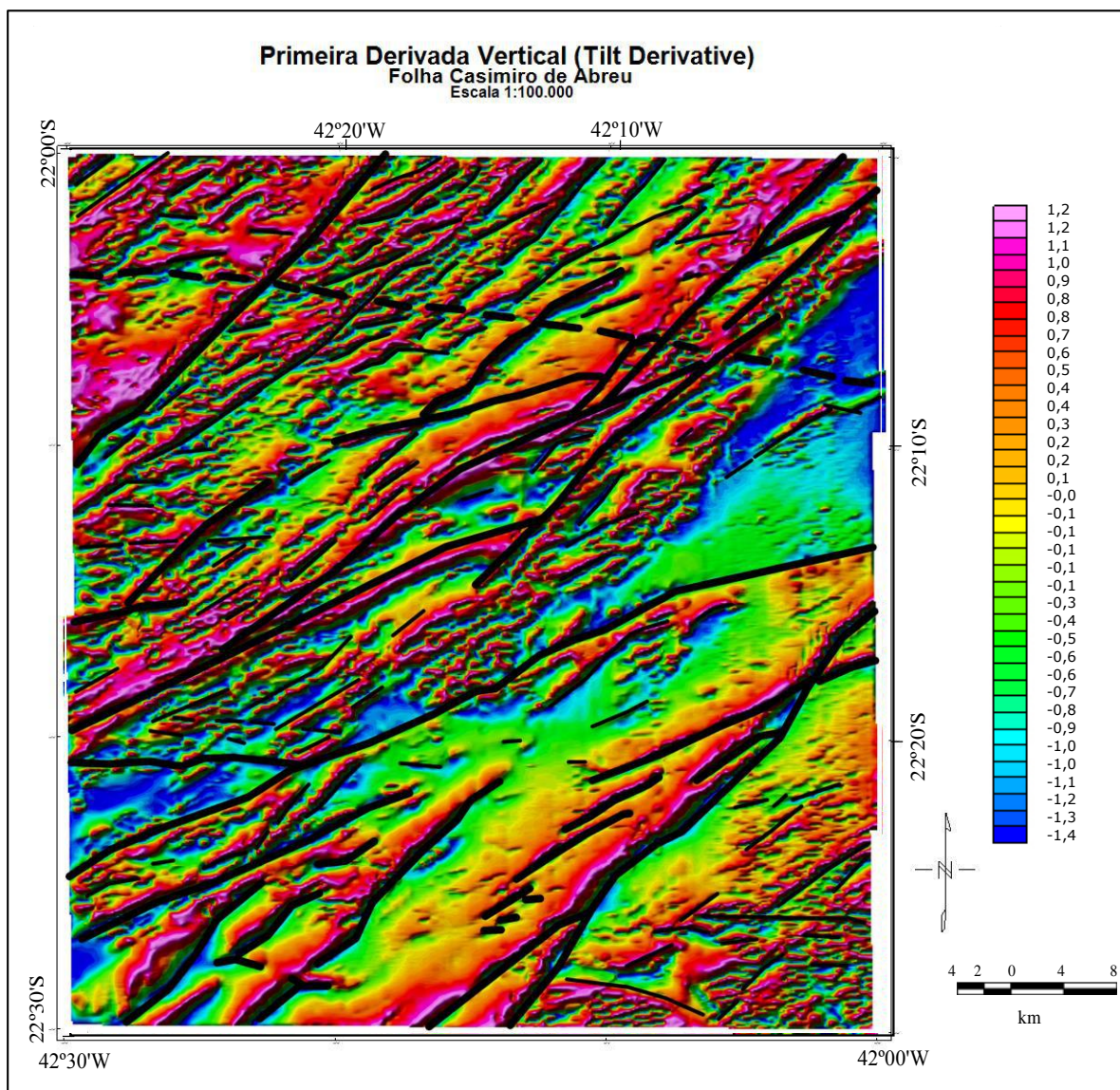


Figura 7 - Mapa magnetométrico - Primeira derivada (Tilt Derivative). Na figura se dá destaque à estruturação principal da área (NE-SW) com alguns truncamentos e também *trends* de direção E-W em pontilhado.

Outra ferramenta interessante no processamento de dados magnetométricos é a simulação de um levantamento de altura de voo superior, com o objetivo de atenuar estruturas mais superficiais e dar destaque a estruturas mais antigas, sendo assim, é possível perceber quais estruturas são de maior profundidade e provavelmente mais antigas. A Figura 8 mostra o Mapa Magnetométrico de continuação para cima de 500 metros, simulando assim uma altura de voo de 600 metros. Observa-se que as estruturas que dão origem à subdivisão em domínios mostrada anteriormente são as mais profundas, uma vez que são ainda mantidas no mapa a seguir. Outra estrutura que se mostra mais profunda (em azul) é aproveitada para intrusão de um dos diques interpretados na Figura 5.

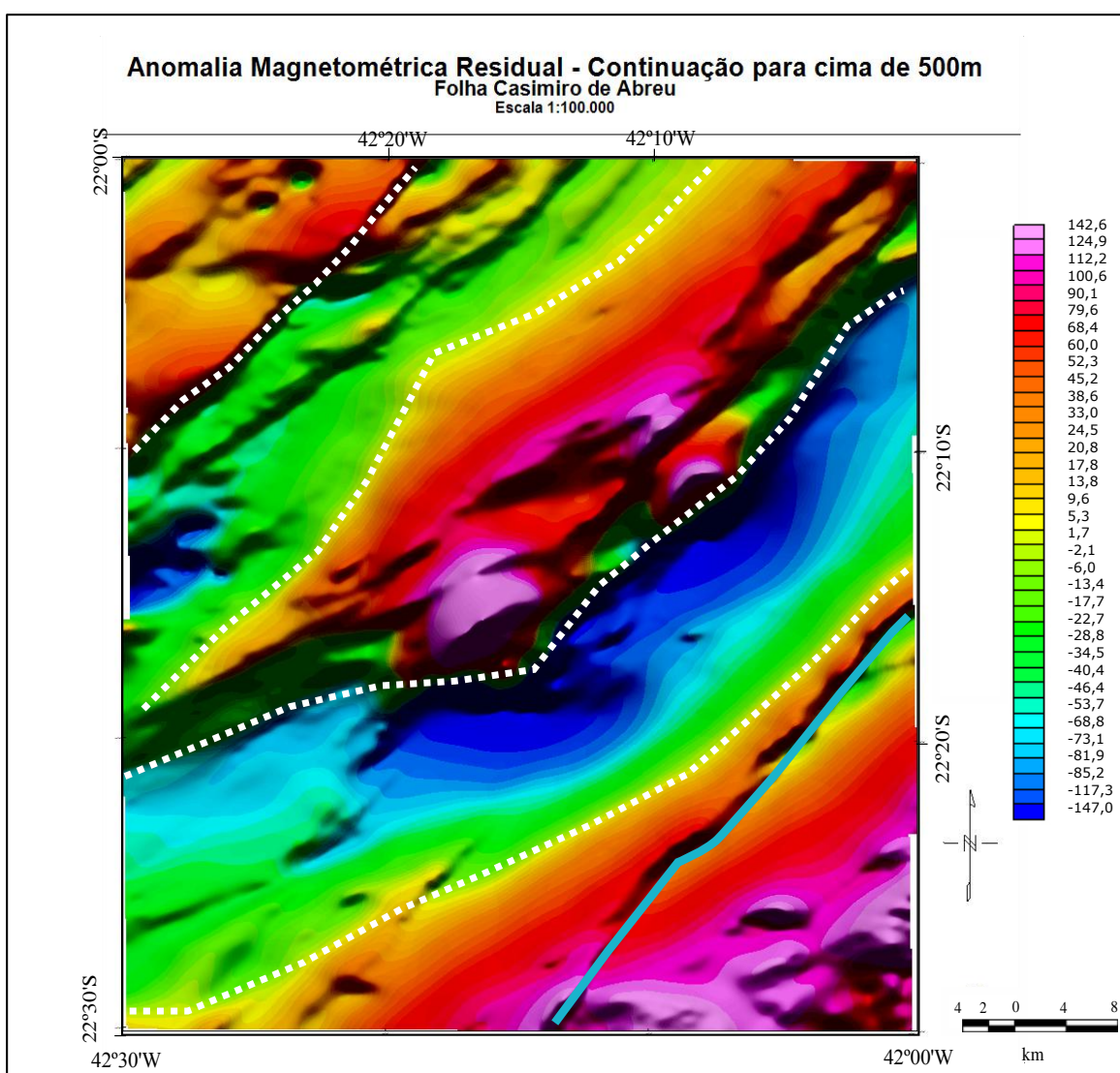


Figura 8 - Mapa de Anomalia Magnética Residual de continuação para cima de 500 metros, simulando um levantamento por meio de uma aeronave a 600 metros de altura, exibindo estruturas menos superficiais, com destaque à estrutura mais a SE, em azul, onde existem afloramentos de diabásio.

5.1.2 Gamaespectrometria

O canal de Tório²³⁸ exibiu inconsistências em algumas linhas após a primeira gridagem, por isso foi necessário fazer filtragem para a redução de efeitos não geológicos, diminuindo a possibilidade de interpretações equivocadas. A filtragem de melhor resultado foi a de cosseno direcional, a mais indicada para atenuar tendências em direções específicas, tais como linhas de voo. O mapa exibido na Figura 9 é resultado da filtragem de cosseno direcional. O mapa de distribuição de Tório²³⁸ foi o que demonstrou maior compatibilidade com os limites da Suíte Suruí, onde a litologia exibiu fortes anomalias positivas para o radioelementos em seus principais afloramentos, com pequena faixa de divergência (Figura 4). O Tório se mostra tradicionalmente bastante concentrado em complexos graníticos félsicos, tais como a Suíte Suruí (Geraldes *et al.*, 2012).

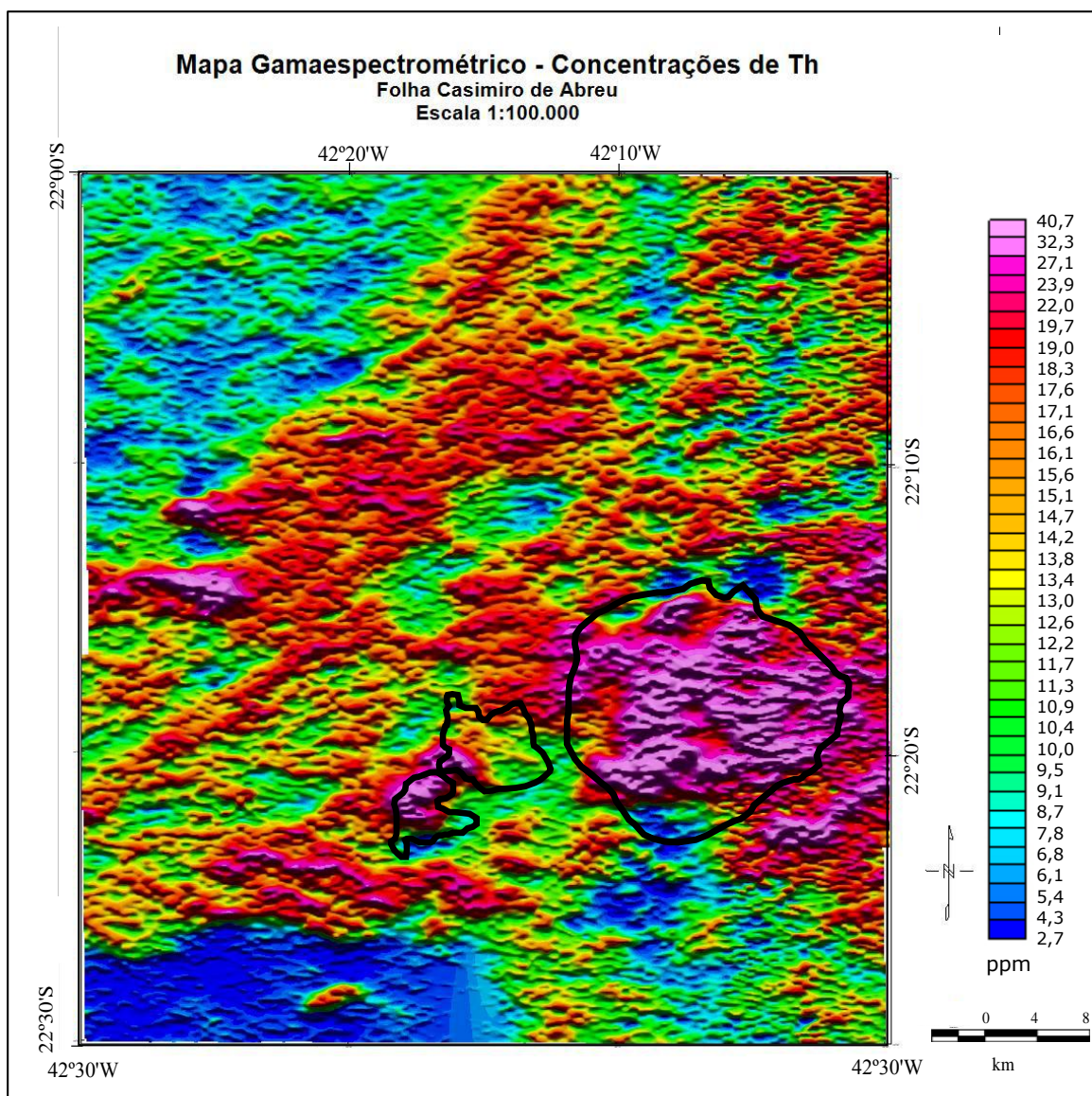


Figura 9 - Mapa Gamaespectrométrico de distribuição de Tório²³⁸ com os limites dos contatos principais da Suíte Suruí tirados do mapa geológico.

A distribuição de Urânio ²³² não se mostra tão compatível com a Suíte Suruí, porém cabe o ressaltar no mapa de distribuição de U²³² (Figura 10) duas áreas destacadas pelo forte contraste, exibindo anomalias frias e indicando dois possíveis contatos ou feições não identificadas pelo mapeamento geológico, que também podem ser observadas no mapa de distribuição de Tório²³⁸. Possivelmente por ser um elemento bastante solúvel, o Urânio²³² se mostrou o radioelemento de menor compatibilidade com a estruturação geral da área.

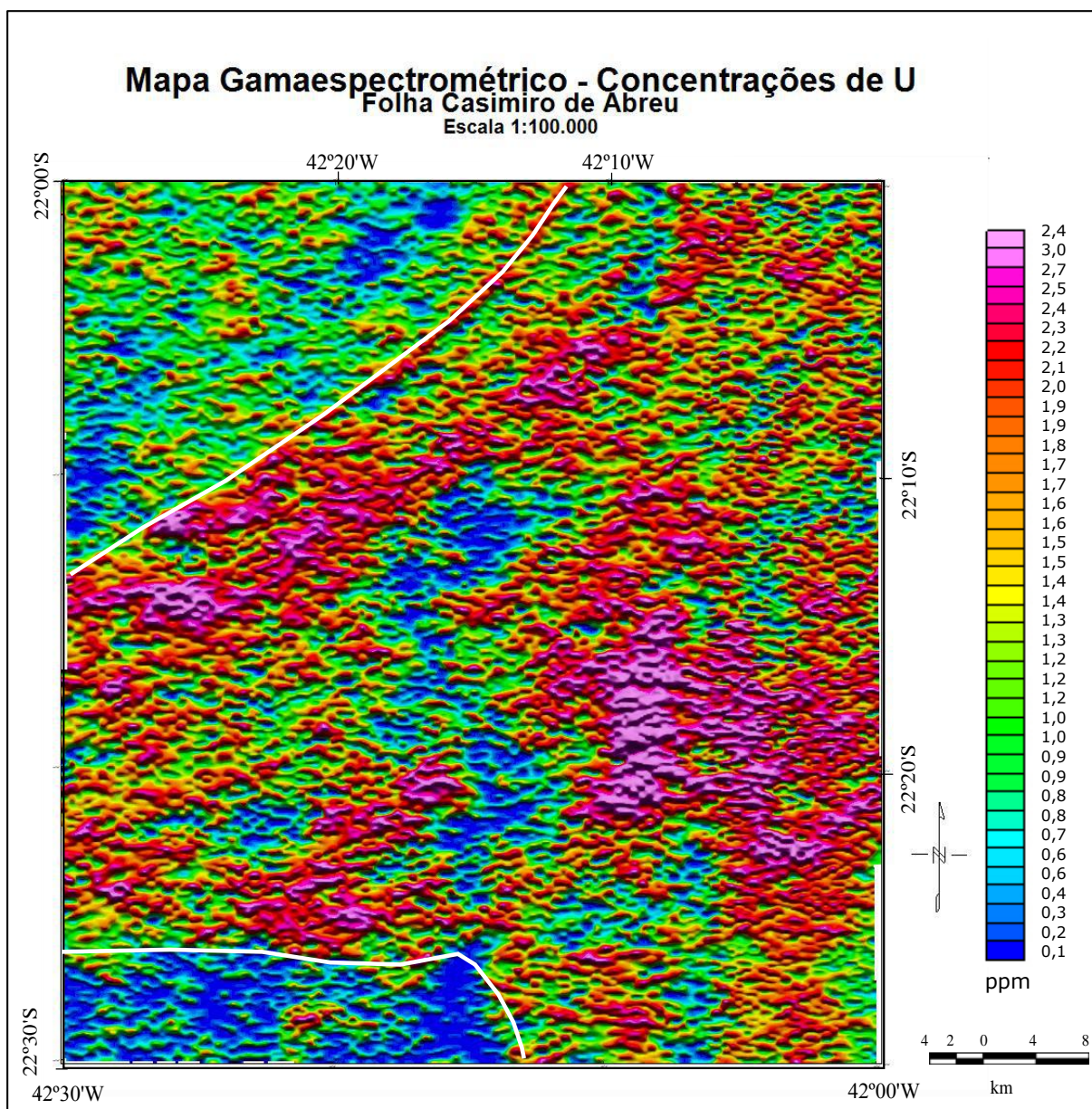


Figura 10 - Mapa Gamaespectrométrico de Distribuição de Urânio²³² com destaques às principais feições observadas.

A distribuição de K^{40} na área, exibida na Figura 11, se mostra também compatível com a Suíte Suruí, um pouco mais diferenciada do que a de Th^{238} . No mapa se destaca região SW da folha com possível contato litológico, assim como nos demais radioelementos.

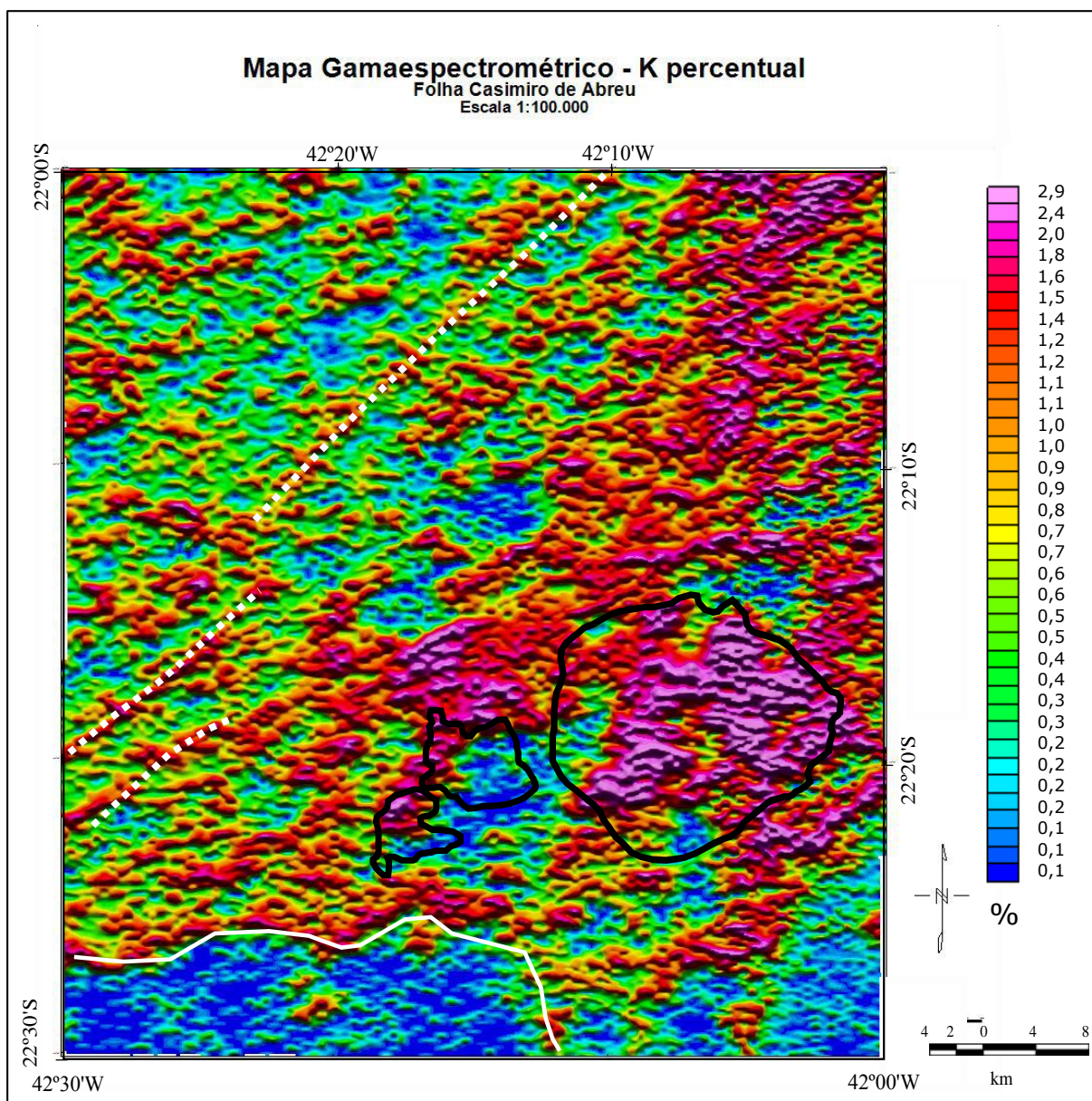


Figura 11 – Mapa Gamaespectrométrico de distribuição de Potássio 40 que exhibe estruturação principal da área, anomalia a Sul já identificada nos outros mapas radiométricos e boa compatibilidade com os limites da Suíte Suruí.

Os mapas razões, com exceção do U^{232}/K^{40} , apresentaram baixo relevo. O Mapa de razão Th^{238}/K^{40} (Figura 12) não complementa notavelmente as informações já observadas anteriormente, apresentando, inclusive, feições aparentemente não geológicas, geradas por algum erro na modelagem realizada pelo software.

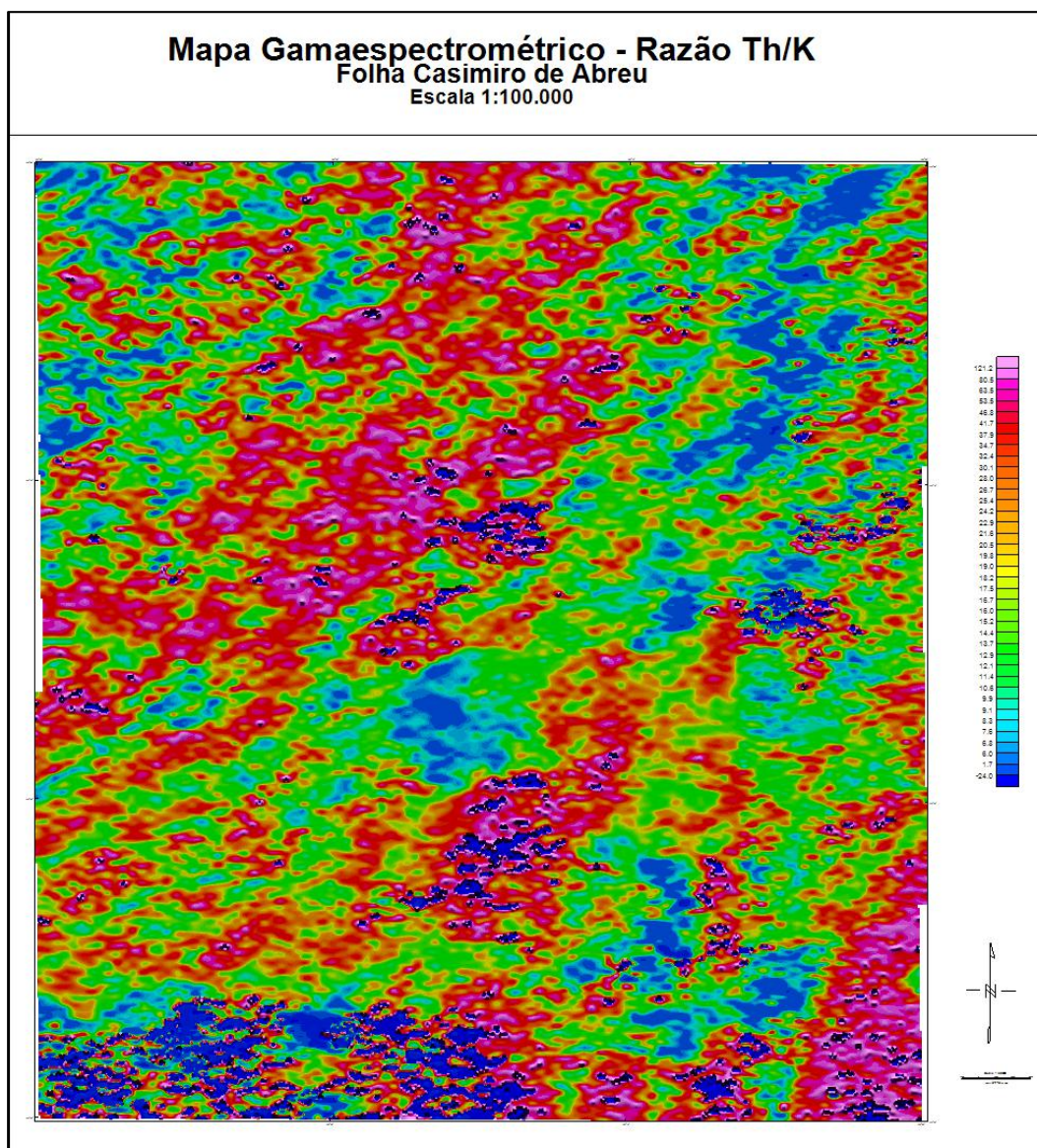


Figura 12 - Mapa Gamaespectrométrico - Razão Tório²³⁸/Potássio⁴⁰

O mapa de razão U^{232}/Th^{238} (Figura 13) tem pontos de notáveis anomalias na parte centro-leste e na porção sudoeste. As duas anomalias mais intensas da porção centro-leste do mapa bordejam a Suíte Suruí, marcando seu contato com o Grupo São Fidelis.

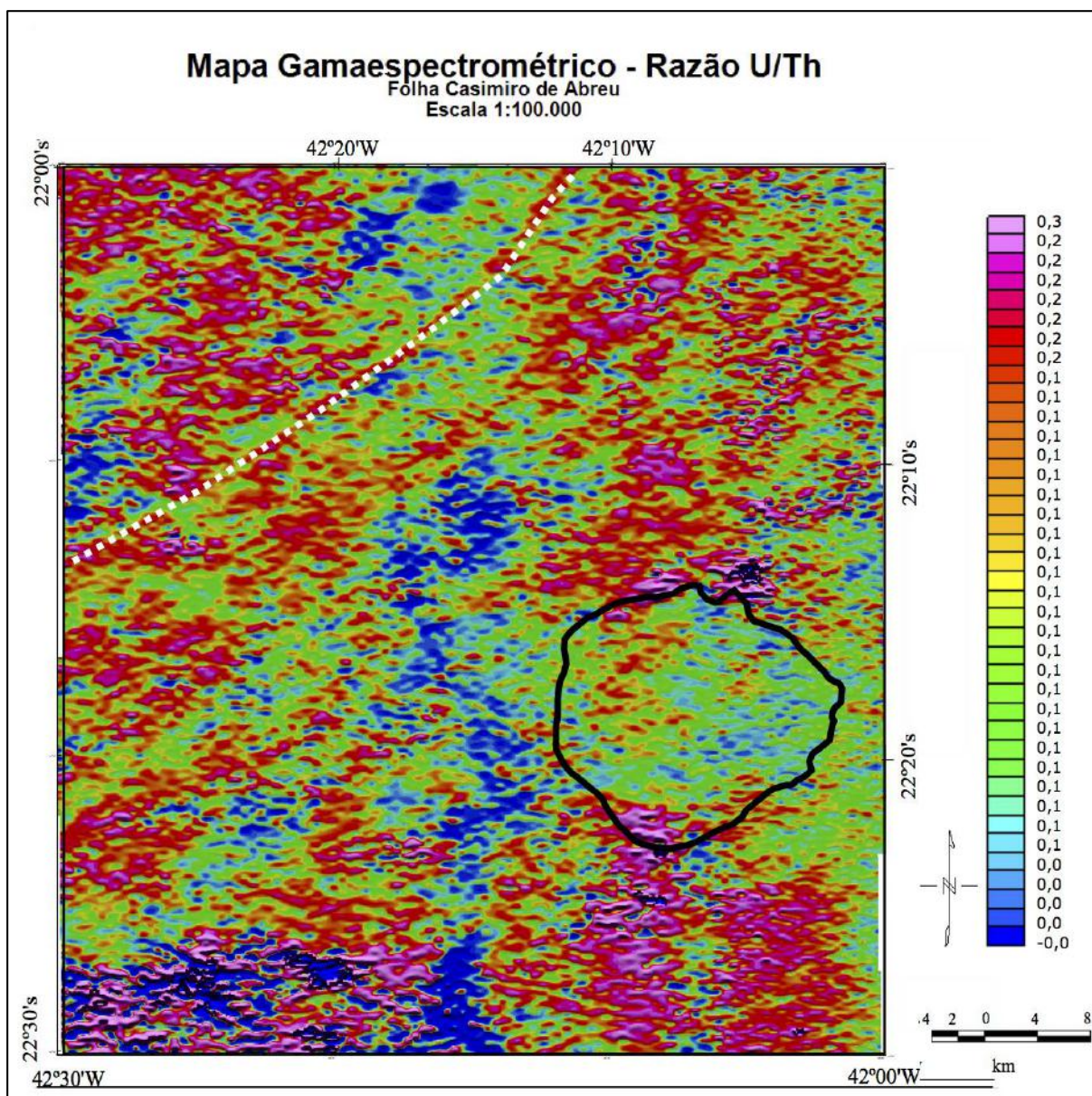


Figura 13 - Mapa Gamaespectrométrico - Razão Urânio²³²/Tório²³⁸, com destaque às fortes anomalias positivas nas bordas da Suíte Suruí e manutenção do domínio no NW da folha, separado pela anomalia em direção NE.

O mapa de razão U^{232}/K^{40} (Figura 14) foi o mapa razão que melhor conservou a estruturação da área, com fortes anomalias seguindo a direção NE e ENE já identificadas pelo mapeamento geológico e demais mapas gamaespectrométricos.

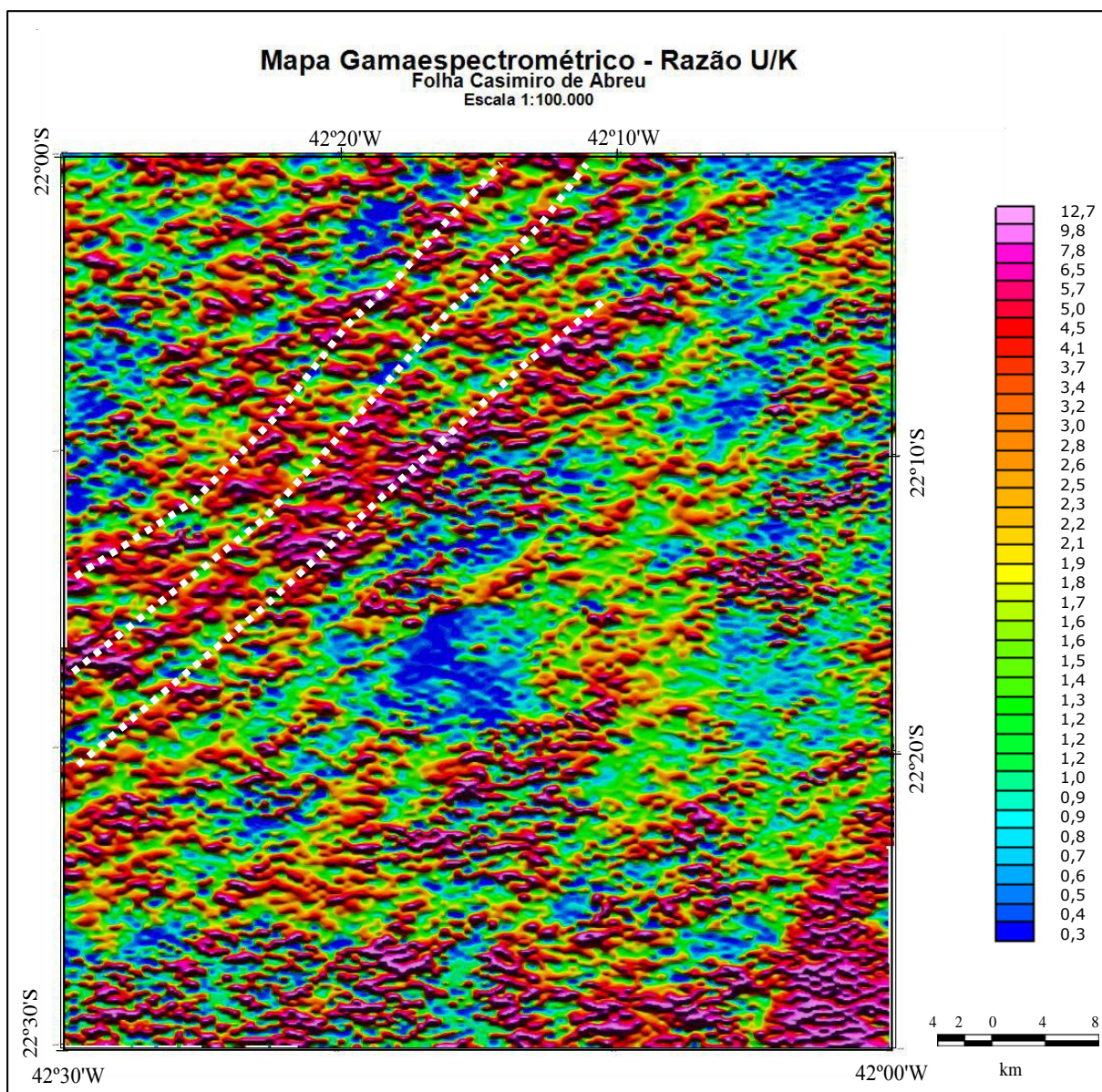


Figura 14 - Mapa Gamaespectrométrico - Razão Urânio²³²/Potássio⁴⁰, com destaque às anomalias que conservam a estruturação da área.

Perfis

As assinaturas dos canais Urânio²³², Tório²³⁸ e a razão U^{232}/Th^{238} para a linha que corta a Suíte Suruí (Figura 15) mostram ocorrências de anomalias U^{232}/Th^{238} positivas nos contatos das encaixantes, que resultam da variação das concentrações relativas do U^{232} , que apresenta crescimento, enquanto o Th^{238} decresce, implicando no pico da razão U^{232}/Th^{238} , coincidindo geograficamente com o contato da Suite Suruí com o Grupo São Fidelis. No restante do perfil, os dois radioelementos variam da mesma maneira, não resultando em alterações da razão U^{232}/Th^{238} .

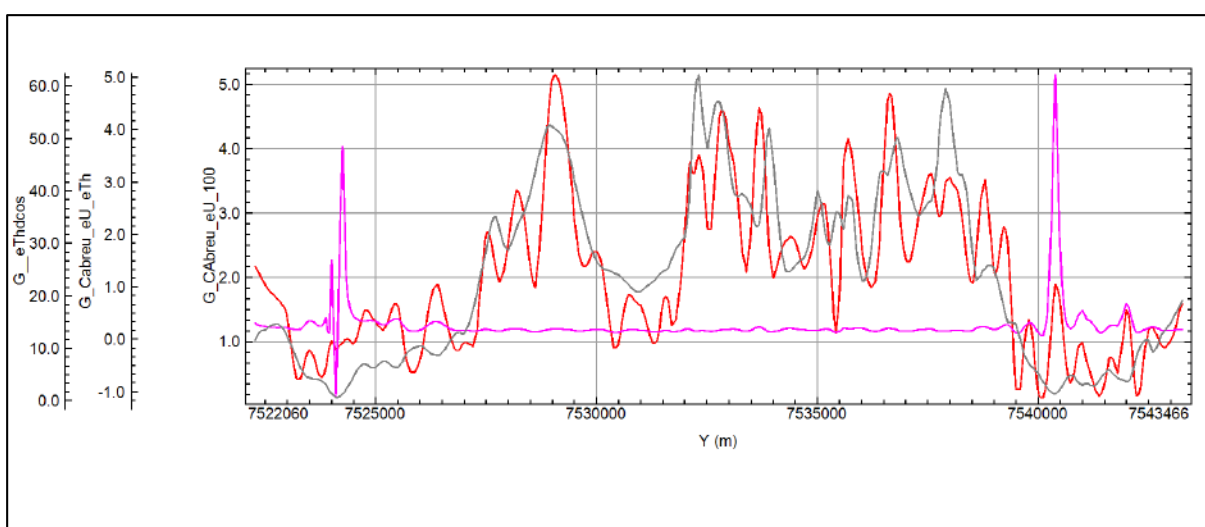


Figura 15 - Perfis de Th^{238} (cinza), U^{232} , (vermelho) e U^{232}/Th^{238} (rosa) cortando a Suíte Suruí, nas coordenadas X/Y: 596345/7543257 a 588675/7522317.

5.1.3 Mapa geológico associado às interpretações aerogeofísicas

A Figura 16 resume as principais informações adquiridas pelos mapas aerogeofísicos associadas ao mapa geológico de Gerald *et. al* (2012). É possível observar que os dados aerogeofísicos podem complementar, confirmar ou questionar informações coletadas em campo. Com um estudo mais aprofundado será possível obter um mapa geológico mais detalhado, com contatos e estruturas melhor marcados, como se pode observar pela figura seguinte.

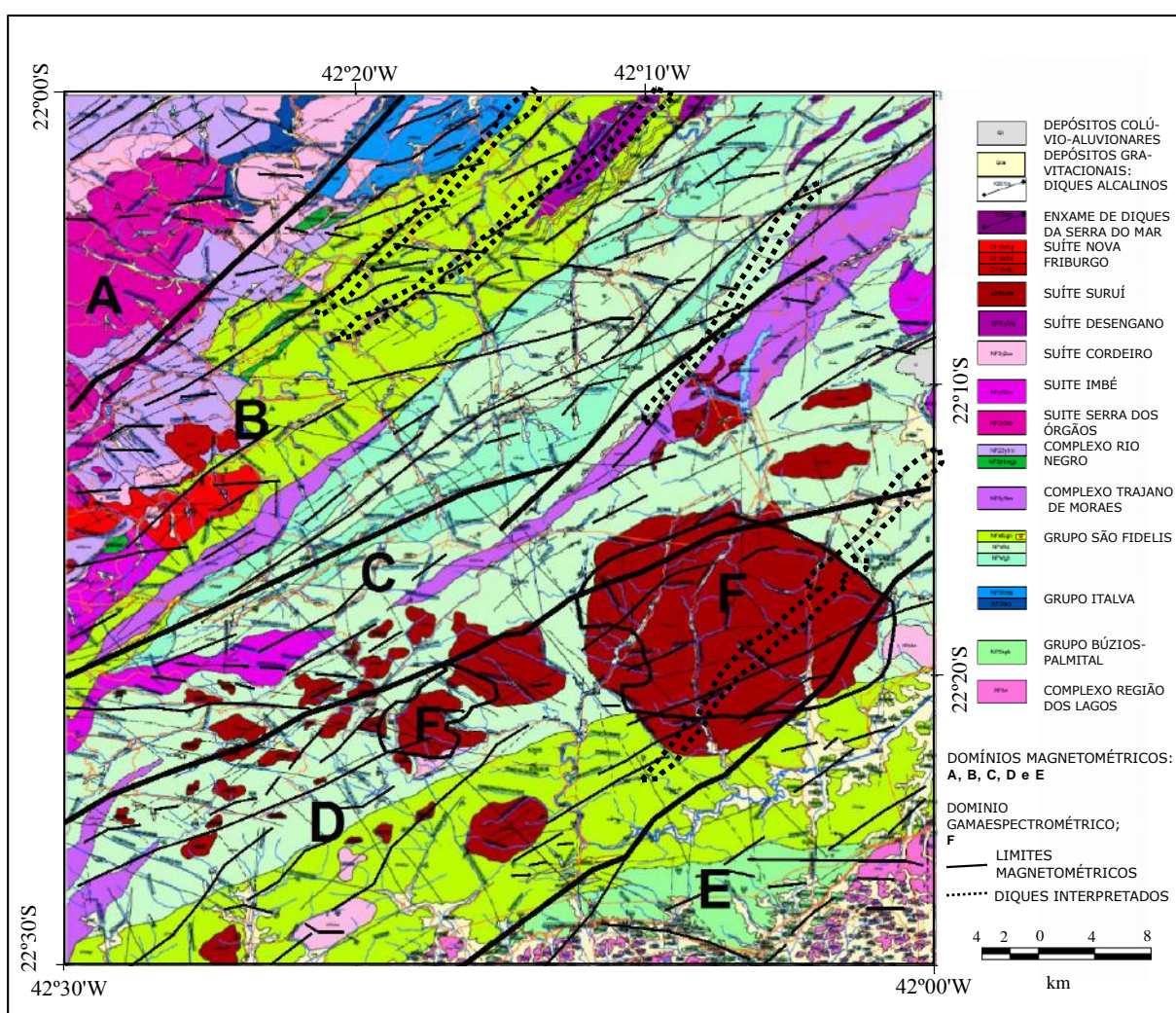


Figura 16 - Mapa geológico de Gerald *et.al* (2012) alterado com estruturas principais, enxames de diques (em tracejado) identificados na magnetometria e limites da Suíte Suruí estimados pela distribuição do Tório²³⁸.

6 CONCLUSÕES

O método magnetométrico obteve bons resultados na compartimentação da área em domínios e estruturas, com destaque aos diques de diabásio, que apesar de existentes na base de afloramentos, não estão presentes no mapa geológico. Essa observação é muito importante no contexto do estudo do enxame de diques gerado pela junção tríplice do Paraná, Valente (1991) inicia o estudo no Rio de Janeiro, mas a área estudada no presente trabalho não recebeu ainda a devida atenção nessa questão.

Dentro do método gamaespectrométrico, se destacou a estruturação regional da área NE-SW, observada em todos os mapas gamaespectrométricos (Th^{238} , U^{232} e K^{40}), com a observação desta, é possível identificar ao menos três domínios de diferentes assinaturas. O mapa de distribuição de Tório²³⁸ foi aquele, dentro de todo o trabalho, que obteve maior compatibilidade com a Suíte Suruí, no contexto do mapeamento geológico, devido a sua boa aplicação em granitóides félsicos.

A integração de dados mostra o quanto é importante realizar estudos indiretos em paralelo ou em complemento ao mapeamento geológico, gerando um mapa mais robusto e preciso ao acrescentar, reforçar ou eliminar informações de acordo com os resultados. O presente trabalho identifica questões que merecem maior aprofundamento e reforça a importância da utilização dos dados aerogeofísicos no Estado do Rio de Janeiro para melhor reconhecimento da área e contextualização geológica. Futuros estudos nesse sentido, na folha estudada ou em outras áreas do Rio de Janeiro, podem estender e complementar interpretações para grande relevância para a geologia regional, estrutural e econômica.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. **The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 48, p. 15-26, 1976.

ARAÚJO, Jefferson Ferraz. **Construção de um magnetômetro Hall para caracterização de partículas magnéticas utilizadas em ensaios imunológicos**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Física). Programa de Pós-Graduação em Física da PUC-Rio. Instituto de Física. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

CORVAL, A. *et al.* **Dados petrológicos dos diabásios dos setores centro-norte e nordeste do enxame de diques da Serra do Mar**. 2008. p. 159-177. Geochimica Brasiliensis.

CORVAL, A. **Petrogênese das suítes basálticas toleíticas do Enxame de Diques da Serra do Mar nos setores central e norte do estado do Rio de Janeiro**. 2005. 92p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

COX, K.G *et al.* **The interpretation of igneous rocks**. 1 ed. Londres: Chapman & Hall. 1979. 450p. ISBN 978-94-017-3373-1.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Belo Horizonte. **Casimiroabreu.pdf**: Mapa Geológico da Folha Casimiro de Abreu - SF23-Z-B-III. 6,8 Mb. Escala 1:100.000. Disponível em: <<http://www.geobank.cprm.gov.br>>. Acesso em: 15.06.2016.

DICKSON B.L.; Scott K.M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors**. 1997. AGSO J. Australia Geology & Geophysics. 17(2): 187-200.

DUNLOP, David J., ÖZDEMİR, Özden. In: EDWARDS, David. **Rock magnetism**. Nova Iorque. Cambrigde University Press, 1997. Cap. 2. ISBN 521 325145.

DUTRA, T. **Petrogênese dos basaltos de baixo TiO₂ do Enxame de Diques da Serra do Mar na Região dos Lagos, RJ**. 2006. 111 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais, Faculdade de Geologia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

FRIES, Maximilian. **Estudo dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D’alho e Jibóia (flanco nordeste da bacia sedimentar do Paraná), através dos métodos geofísicos da gravimetria e magnetometria terrestres**. 2008. 238 p. Dissertação (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

GERALDES, M. C., *et al.* **Geologia e recursos minerais da Folha Casimiro de Abreu**. 2012. 136 p. Programa Geologia do Brasil. CPRM. Minas Gerais, Belo Horizonte.

GONÇALVES, Bruno. **Modelagem de dados geofísicos magnéticos e radiométricos aéreos e terrestres aplicados à interpretação geológica**. 2008. 142p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) – Curso de Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

HALLIDAY, David *et al.* **Fundamentos de Física 3: Eletromagnetismo**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. v. 1. 351 p. ISBN 978852-1619055.

HEILBRON, Mônica *et al.* **Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira entre o Neoproterozoico e o Paleozoico Inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 2012. Anuário do Instituto de Geociências. ISSN 0101-9759 e ISSN 1982-3908. p. 140-151. Rio de Janeiro.

HORSFAL, K. R. **Airborne magnetic and gamma-ray data acquisition**. 1997. p: 23-30. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics.

KEAREY, Philip *et al.* **An Introduction to Geophysical Exploration**. 3 ed. Londres: Blackwell Science, 2002. v. 1. 281 p. ISBN 0-632-04929-4

LOWRIE, William. **Fundamentals of Geophysics**. 2.ed. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2007, cap. 5. ISBN-10 0-511-35447-9.

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. C. **Geofísica de prospecção**. 1995. 311 p. Belém: Universidade Federal do Pará.

MACKENZIE, D.; BICKLE, M. J. **The Volume and Composition of Melt Generated by Extension of the Lithosphere**. Department of Earth Sciences. Journal of Petrology, V. 29, p. 623-679. 1988. Cambridge.

MIRANDA, J. M., **Introdução ao Geomagnetismo**. 2005. 78p. Centro Geofísico da Universidade de Lisboa. Lisboa.

PACHECO, Clara Johanna. **Aplicação de materiais com magnetostricção gigante em sensores de deslocamento sem contato**. 2007. 71p. Dissertação (Mestrado em Física). Programa de Pós-graduação em Física, Departamento de Física, PUC-Rio, Rio de Janeiro.

RIBEIRO, V.B. *et al.* **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico**. 2014. Terræ Didática, 10(1):29-51. USP, São Paulo.

RICCOMINI, C. **Neotectonic activity in the Serra do Mar rift system (Southeastern Brazil)**. 1989. p: 191 – 197. Journal South American Earth. Sciences.

RICCOMINI, C.; RODRIGUES FRANCISCO, B.H. **Idade potássio-argônio do derrame de ankaramito da Bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil: implicações tectônicas**. 1992. 37º Congresso brasileiro de Geologia. p: 469-470. São Paulo.

RICCOMINI, C. *et al.* In: MANTESO-NETO, V., *et al.* **Geologia do Continente Sul-Americano. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 2004. p: 384 – 405. São Paulo: Beca.

RICCOMINI, C. *et al.* **Regime tectônico de colocação dos enxames de diques eocretáceos do Sudeste do Brasil.** 2006. 110p. 43º Congresso Brasileiro de Geologia. Aracaju.

RUDNICK, R. L. Cap: 3. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. (eds.). **The crust.** Cidade do México: Elsevier Science. 2006. Cap: 3. ISBN 978-0080448473.

SCHOBENHAUS C. *et al.* 1984. 435p. **Geologia do Brasil.** Brasília, DNPM.

TELFORD, W. N. *et al.* **Applied Geophysics.** Nova Iorque: Cambridge University Press. 1990. Cap. 3. ISBN 0521 326931.

TUPINAMBÁ, Miguel *et al.* **Neoproterozoic Western Gondwana assembly and subduction-related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt, Soth-eastern Brazil.** 2000. p: 7-11. Revista Brasileira de Geociências.

VALENTE, S.C. *et al.* **Novas evidências de metassomatismo e propostas preliminares para a evolução magmática das intrusões de diabásio do Rio de Janeiro, RJ.** 1991. p. 91-96. In: 2º Simpósio de Geologia do Sudeste, São Paulo.

VALENTE, S.C. **Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of the Cretaceous dykes of Rio de Janeiro, Brazil.** 1997. 366 p. Dissertação (Doutorado em Geologia). The Queen's University of Belfast. Belfast.

VALERIANO, C. de M. *et al.* **Geologia e recursos minerais da Folha Baía de Guanabara.** 2012. 156 p. Programa Geologia do Brasil. CPRM. Minas Gerais, Belo Horizonte.

WILFORD, J. R *et al.* **Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology.** 1997. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. p. 201-216.

ZALÁN, Pedro Victor; OLIVEIRA, João Alberto Bach de. **Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil.** 2005. p: 269-300. Boletim de Geociências da Petrobras.